

**ANALISIS KONDISI TRAFO II 150 / 20 kV 60 MVA GI PEDAN MELALUI
HASIL PENGUJIAN SFRA (*SWEEP FREQUENCY RESPONSE ANALYSIS*)
MENGUNAKAN FRAX vs 2.5**



**Disusun sebagai salah satu syarat menyelesaikan Program Studi Strata I
Pada Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik**

Oleh:

DYAH SEKAR ARUM

D 400 140 125

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SURAKARTA
2018**

HALAMAN PERSETUJUAN

**ANALISIS KONDISI TRAFO II 150 / 20 kV 60 MVA GI PEDAN MELALUI
HASIL PENGUJIAN SFRA (*SWEEP FREQUENCY RESPONSE ANALYSIS*)
MENGUNAKAN FRAX vs 2.5**

PUBLIKASI ILMIAH

oleh:

DYAH SEKAR ARUM

D 400 140 125

Telah diperiksa dan disetujui untuk diuji oleh:

 Dosen Pembimbing
Umar, S.T., M.T
NIK.731

HALAMAN PENGESAHAN

ANALISIS KONDISI TRAF0 II 150/20 kV 60 MVA GI PEDAN MELALUI HASIL PENGUJIAN SFRA (*SWEEP FREQUENCY RESPONSE ANALYSIS*) MENGUNAKAN FRAX vs 2.5

OLEH


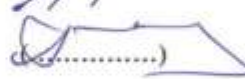

DYAH SEKAR ARUM

D 400 140 125

Telah dipertahankan di depan Dewan Penguji
Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Surakarta
Pada hari Kamis, 11 Januari 2018
dan dinyatakan telah memenuhi syarat

Dewan Penguji:

1. Umar, S.T, M.T.
(Ketua Dewan Penguji)
2. Ir. Jatmiko, M.T.
(Anggota I Dewan Penguji)
3. Agus Supardi, S.T, M.T.
(Anggota II Dewan Penguji)


(.....)

(.....)

(.....)

Dekan,


Ir. Sri Sunarjono, M.T., Ph.D.
NIK. 628




PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu perguruan tinggi dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam naskah dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Apabila kelak terbukti ada ketidakbenaran dalam pernyataan saya di atas, maka akan saya pertanggungjawabkan sepenuhnya.

Surakarta, 10 Januari 2018

Penulis



DYAH SEKAR ARUM

D 400 400 125

ANALISIS KONDISI TRAF0 II 150 / 20 kV 60 MVA GI PEDAN MELALUI HASIL PENGUJIAN SFRA (SWEEP FREQUENCY RESPONSE ANALYSIS) MENGGUNAKAN FRAX vs 2.5

Abstrak

SFRA (*Sweep Frequency Response Analysis*) adalah suatu perangkat yang dapat menunjukkan indikasi perubahan kondisi trafo dari inti besi atau belitan transformator. Perangkat ini bekerja lebih awal mendeteksi kondisi trafo sekecil apapun dari struktur inti besi, belitan dan struktur *clamping* pada transformator. Perubahan kondisi trafo tersebut dapat disebabkan oleh beberapa faktor kerusakan kelistrikan seperti masa pakai alat transformator yang semakin lama usia trafo semakin besar penurunan kualitas kerja, perubahan elektromekanikal setelah transportasi, setelah terjadinya gangguan hubung singkat, dan setelah kejadian luar biasa (gempa bumi, badai atau tornado, dan banjir). Metode yang dilakukan adalah analisa kondisi trafo dalam keadaan *offline* dengan cara menginjeksikan sinyal sinusoidal dengan tegangan konstan dalam nilai rentang frekuensi tertentu, sehingga dapat diketahui kondisi trafo. Berdasarkan standart DL/T 911-2004 didapatkan hasil masing-masing nilai rentang frekuensi untuk mendeteksi berbagai jenis gangguan diantaranya pergeseran antar belitan, pergerakan inti besi, kerusakan struktur *clamping* dan perubahan lilitan yang terhubung singkat pada belitan. Pengujian dilakukan dengan menghubungkan kabel antar fasa pada ujung-ujung terminal sisi tegangan tinggi (primer) secara terbuka dan pada ujung-ujung terminal sisi tegangan rendah (sekunder) secara hubung singkat. Hasil pengujian trafo II 150/20 kV 60 MVA GI Pedan didapatkan kondisi trafo menunjukkan sebagian mengindikasikan adanya gangguan ringan dan sedang. Hasil pengujian pada nilai rentang frekuensi rendah (R-LF) yang mengindikasikan adanya gangguan sedang (*obvious deformation*) terhadap fasa w yang terletak pada inti besi trafo dan nilai rentang frekuensi menengah (R-MF) mengindikasikan adanya gangguan ringan (*light deformation*) terhadap fasa v yang terletak pada struktur *clamping* bushing trafo.

Kata Kunci : FRAX vs 2.5, *offline*, SFRA, Standart DL/T 119-2004, struktur *clamping*.

Abstract

SFRA (*Sweep Frequency Response Analysis*) is a device that can show indication of transformer condition change from iron core or winding transformer. This device works early to detect the condition of the smallest transformer of the iron core structure, winding and clamping structure on the transformer. Changes in the condition of the transformer may be caused by several factors of electrical damage such as the life of the transformer means the longer the transformer age the greater the decrease of quality of work, the electromechanical changes after transportation, after the short circuit, and after extraordinary events (earthquakes, storms or tornadoes , and floods). The method performed is the transformer condition analysis in the offline state by injecting sinusoidal signal with a constant voltage in the value of a certain frequency range, so it can be known condition of the transformer. Based on standart DL / T 911-2004 we got the result of each frequency range value to detect various kinds of interference among others shifting between winding, iron core movement, clamping structural damage and short-circuited winding changes in winding. Testing is done by connecting the cable between phases at the ends of the terminal terminals of the high voltage (primary) openly and at the ends of the terminal terminals of low voltage (secondary) in a short circuit. The transformer II test results of 150/20 kV 60 MVA GI Pedan obtained transformer conditions indicate some indicate mild and moderate disturbance. The test results at low frequency range (R-LF) indicating a moderate disturbance (*obvious deformation*) to the phase w located at the transformer core of the iron and the mid-range frequency range (R-MF)

indicates a light deformation to the phase v located on the clamping structure of the bushing of the transformer.

Keywords : FRAX vs 2.5, offline, SFRA, Standards DL / T 119-2004, clamping structure.

1. PENDAHULUAN

Perkembangan sumber energi merupakan salah satu kunci dari kemajuan sistem tenaga listrik untuk peningkatan taraf hidup masyarakat. Tujuan dari sistem tenaga listrik adalah untuk pembangkitan, mentransmisi serta mendistribusikan tenaga listrik. Seringkali sistem AC tiga fasa digunakan untuk pembangkit dan transmisi tenaga listrik. Frekuensi tegangan dan arusnya sebesar 60 Hz di Amerika Serikat dan beberapa negara ASIA, serta 50 Hz di Eropa, Australia dan sebagian wilayah Asia (Karady & Holbert, 2005). Saluran transmisi pertama kali berfasa tunggal dan dayanya hanya dipakai untuk penerangan. Saat ini saluran transmisi sudah menggunakan tiga fasa dan banyak dipakai untuk keperluan industri, rumah tangga dan lain-lain. Saluran transmisi terdapat berbagai masalah salah satunya yaitu rugi-rugi daya. Rugi daya merupakan kehilangan energi yang sama sekali tidak mungkin dihindari (Marsudi, 2015). Rugi-rugi daya memang tidak bisa dihindari, namun masih memiliki kemungkinan untuk diminimalisir. Agar rugi-rugi energi listrik (*losses*) berkurang, energi listrik tersebut ditransmisikan dengan tegangan tinggi (150 kV) maupun tegangan ekstra tinggi (500 kV), maka sebelum ditransmisikan tegangan listrik terlebih dahulu dinaikkan pada trafo penaik tegangan (*step-up*) atau penurun tegangan (*step-down*) (Wiliam, 1994).

GI (Gardu Induk) merupakan kumpulan peralatan listrik tegangan ekstra tinggi yang memiliki peran penting sebagai pusat pengaturan (*control centre*) untuk melakukan koordinasi antara sistem pembangkit dan sistem distribusi. Salah satu peralatan listrik utama yang terdapat pada gardu induk adalah transformator tenaga. Transformator tenaga merupakan peralatan statis dimana rangkaian magnetik dan belitan yang terdiri dari 2 atau lebih belitan, secara induksi elektromagnetik mentransformasikan daya (arus dan tegangan) sistem AC ke sistem arus dan tegangan lain pada frekuensi yang sama (IEC 60076-1, 2011).

Transformator tenaga terdiri dari komponen utama berupa inti besi dan belitan transformator yang tersusun menjadi jaringan listrik dengan mengandung elemen-elemen resistansi, induktansi, dan kapasitansi. Nilai resistansi dipengaruhi oleh hambatan jenis, panjang penghantar dan luas penampang. Nilai induktansi dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain luas penampang, jumlah lilitan, dan media induktansi. Semakin besar luas penampang maka arus yang mengalir semakin besar dan induktansi semakin besar pula. Sedangkan nilai kapasitansi dipengaruhi oleh jarak antar konduktor. Adanya pergeseran antar belitan dapat dipengaruhi oleh nilai kapasitansi dan dapat menyebabkan terjadinya pergeseran letak posisi (*deformasi*) diantara elemen-elemen transformator

(RLC). Berdasarkan perbedaan nilai RLC dapat dilakukan deteksi awal mengenai adanya perubahan kondisi pada transformator (Kraetge *et al.*, 2009). Jarak pergeseran antar belitan dan inti besi tersebut dapat dilihat dengan menggunakan pengujian SFRA.

SFRA adalah suatu perangkat yang dapat menunjukkan indikasi inti besi atau pergeseran belitan transformator. Perangkat ini bekerja mendeteksi pergeseran sekecil apapun, mengevaluasi kesatuan struktur kondisi trafo dari inti besi, belitan dan struktur *clamping* pada transformator dengan mengukur fungsi transfer elektrik terhadap sinyal bertegangan rendah dalam rentang frekuensi yang lebar. Perubahan frekuensi yang ditunjukkan oleh SFRA kemungkinan mengidentifikasi perubahan fisik didalam transformator, hal ini yang kemudian perlu diidentifikasi dan diselidiki (Charles & McGrail, 2003). Berdasarkan penjabaran diatas, maka metode yang dilakukan yaitu analisa kondisi trafo dalam keadaan *offline* dengan cara menginjeksikan sinyal sinusoidal dengan tegangan konstan dalam rentang frekuensi tertentu, sehingga dapat diketahui kondisi trafo.

2. METODE

2.1 Rancangan Penelitian

Penelitian yang dilakukan oleh penulis untuk pengumpulan data dan pembuatan

laporan ini menggunakan beberapa metode, antara lain :

1) Studi Literatur

Studi literatur yang dilakukan penulis yaitu mencari informasi sebanyak mungkin yang berkaitan dengan judul penelitian baik berupa artikel, buku, jurnal dan karya-karya ilmiah sebagai referensi.

2) Pengumpulan Data

Pengumpulan data yang dilakukan selama penelitian di GI Pedan meliputi data *nameplate* trafo II 150 / 20 kV 60 MVA GI Pedan dan *software* FRAX vs 2.5.

3) Pengujian

Pengujian dilakukan pada saat trafo pertama kali datang di GI Pedan, pada saat pengiriman trafo dari pabrik ke GI, dan pada saat terjadinya gangguan semisal gangguan akibat hubung singkat, gempa bumi, serta banjir.

4) Analisa Data

Analisa data yang dilakukan dari pengumpulan data dan interpretasi dengan *software* FRAX vs 2.5. Proses interpretasi digunakan untuk mengetahui seberapa jauh pergeseran inti besi dan pergeseran letak posisi belitan trafo dengan kriteria rentang frekuensi tertentu, sehingga dapat dikatakan trafo tersebut masih normal atau tidak.

5) Pembahasan dan Kesimpulan

Hasil dari analisa data digunakan untuk pembahasan, serta kesimpulan merupakan tahap akhir dari proses pengumpulan data dan tindakan lanjutan (*follow up*) setelah dilakukan pengujian SFRA.

2.2 Peralatan Pengujian

Peralatan yang digunakan dalam pengujian ini, antara lain :

- 1) Trafo II 150 / 20 kV 60 MVA GI Pedan
- 2) Power Supply
- 3) Kabel Pengukuran
- 4) FRAX 101 Megger dan *software* FRAX vs 2.5 yang digunakan untuk menampilkan hasil dari pengujian
- 5) USB Konektor jenis BPC (*Personal Computer*) atau laptop
- 6) Bluetooth

2.3 Tahap-Tahap Pengujian SFRA

Pengujian SFRA dimaksudkan untuk mendeteksi adanya indikasi pergeseran inti besi dan belitan tranformator dalam keadaan *offline*.

Berikut tahap-tahap pengujian SFRA yang dilakukan, yaitu :

- 1) Data pabrik atau *nameplate* Trafo II GI Pedan, merupakan tahap awal dilakukannya pengujian SFRA dengan memasukkan data pabrik ke *layout Software* FRAX vs 2.5. Kemudian FRAX 101 dihubungkan ke trafo yang akan diuji dan hasil pengujian dapat dilihat pada PC (*Personal Computer*) yang terhubung langsung pada alat FRAX 101.

Tabel 1.Data Pabrik atau Nameplate Transformator II GI 150 /20 kV 60 MVA

Tempat Pengujian	GI Pedan
Merk	UNINDO
Tahun Pembuatan	2006
Nomor Seri	P060L3C417-05
Type	OUTDOOR
Impedansi(%)	12,23
Hubungan Belitan	Ynyn0d11 (Y-Y-D, 30° lead)
Kapasitas	60 MVA
HV-LV	165.750-20.000

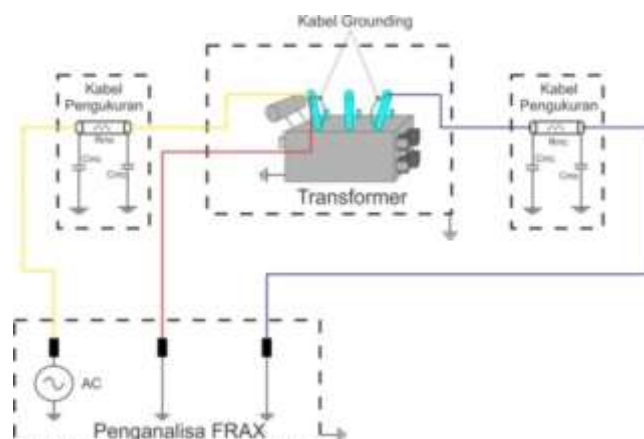
Pendingin	ONAN/ONAF
Posisi LTC	1

2) Rangkaian Pemasangan Kabel

Hubungkan FRAX 101 dengan pentanahan terdekat menggunakan kabel pentanahan terpisah, gunakan pentanahan di bawah trafo jika pengujian yang dilakukan dekat dengan trafo. Pentanahan di atas trafo jika pengujian yang dilakukan di atas trafo. Pengkabelan antara FRAX 101 dengan trafo ada dua macam, yaitu rangkaian hubung terbuka (rangkaian pengkabelan antar fasa (generator = kuning, reference = merah, measure = hitam, serta hijau = *ground*) yang terhubung langsung pada sisi tegangan tinggi, HV (*High Voltage*) pada ujung-ujung terminal 1u-1v, 1u-1w, 1v-1w dan rangkaian hubung singkat (rangkaian pengkabelan antar fasa terhubung pada sisi tegangan rendah, LV (*Low Voltage*) pada ujung-ujung terminal 1u-1v, 1u-1w, 1v-1w yang dihubungkan singkat terhadap terminal sisi tegangan rendah (2u-2v-2w). Sambungkan kabel pengujian dengan konektor BNC ke FRAX 101 terhadap pengkabelan antar fasa. Contoh penyambungan kabel pengujian yang benar yaitu 1u-1n (*open*) berarti sambungan kabel merah dan kuning dihubungkan ke primer fasa R(1u), sedangkan kabel hitam ke primer netral (1n) dan kabel hijau digroundkan.

Penyambungan kabel yang dilaksanakan meliputi hubungan pengkabelan tiap titik uji antar fasa antara lain :

1. Primer (sekunder = open, LTC = Max), 1u-1n (open, LTC = Max), 1v-1n (open, LTC = Max), 1w-1n (open, LTC = Max)
2. Primer (sekunder = short 2u-2v-2w, LTC = Max), 1u-1n (short 2u-2v-2w, LTC = Max), 1v-1n (short 2u-2v-2w, LTC = Max), 1w-1n (short 2u-2v-2w, LTC = Max)
3. Sekunder (primer = open), 2u-2n (open), 2v-2n (open), 2w-2n (open)



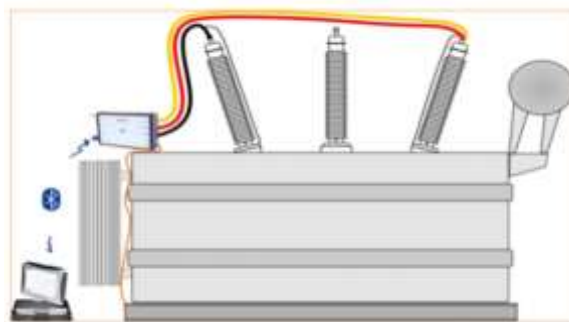
Gambar 1. Rangkaian Pemasangan Kabel



Gambar 2. Rangkaian Pengkabelan (a) Hubung Terbuka Pada Sisi Tegangan Tinggi, HV (*High Voltage*), (b) Hubung Singkat Pada Sisi Tegangan Rendah, LV (*Low Voltage*)

3) Rangkaian Pengujian

Hubungkan FRAX 101 dengan PC. Pilih salah satu cara koneksi FRAX 101 dengan PC, yaitu menggunakan kabel USB kemudian menjalankan *software* FRAX vs 2.5 atau menggunakan *bluetooth*. Memasukkan nilai *nameplate* trafo yang akan diuji ke dalam *layout software* FRAX vs 2.5, kemudian disisi kiri akan keluar pengujian tiap hubungan pengkabelan antar fasa. Mensimulasikan dan menganalisis pengujian pada *software* FRAX vs 2.5 pada tiap hubungan pengkabelan antar fasa. Verifikasi peralatan FRAX sebelum pengujian. Menganalisis hasil pengujian berupa kurva hubungan antara frekuensi (Hz) dan *magnitude* (dB). Membandingkan hasil analisis *software* FRAX vs 2.5 dengan hasil pengujian awal ketika trafo pertama kali datang di GI. Menginterpretasi pengujian SFRA berdasarkan perbandingan dan berulangnya hasil tes. Mengevaluasi hasil pengujian dan membuat kesimpulan.

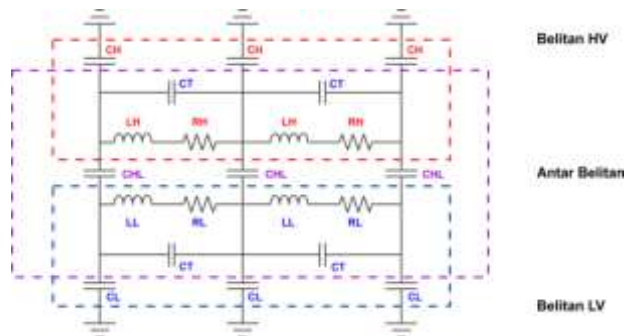


Gambar 3. Rangkaian Pengujian

2.4 Pengujian SFRA

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui adanya perubahan inti besi dan belitan trafo secara *offline* tanpa membuka bagian dalam trafo, sehingga diketahui respon sinyal dari inti besi dan belitan transformator dalam berbagai frekuensi tertentu. Trafo merupakan piranti utama dalam gardu induk dan terdiri dari jaringan kompleks RLC. Jaringan kompleks RLC pada trafo sendiri merupakan

rangkaian ekuivalen RLC yang tersusun dari elemen-elemen resistansi belitan tembaga terhadap sisi tegangan tinggi dan tegangan rendah, induktansi belitan serta kapasitansi antar belitan.



Gambar 4. Rangkaian Ekuivalen RLC Trafo

Sebelum trafo dikatakan layak digunakan, harus melewati serangkaian pengujian. Diantaranya serangkaian pengujian tersebut SFRA dapat dikatakan sebagai tahap uji paling utama.

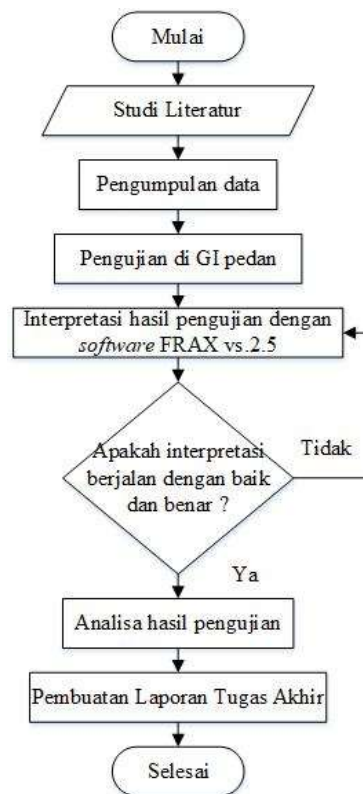
Adapun beberapa manfaat dilakukannya pengujian SFRA, yaitu :

- 1) Mekanik
 - a. Deformasi Belitan
 - i. Deformasi *Axial*, terjadi ketika belitan bergeser ke atas atau ke bawah.
 - ii. Deformasi *Radial*, terjadi perubahan susunan jari-jari belitan pada belitan.
 - b. Pergerakan antar belitan dan inti besi
 - c. Kerusakan struktur *clamping* atau penjepit
 - d. Partial Winding Collapse
- 2) Elektrik
 - a. Belitan yang terhubung singkat
 - b. Kegagalan pentanahan pada inti besi
 - c. Permasalahan pada koneksi internal

Pengujian SFRA pada umumnya dilakukan saat kondisi berikut :

1. Pengujian di pabrik trafo
2. Pengujian saat pengiriman trafo dari pabrik ke GI
3. Pengujian setelah terjadinya insiden atau kejadian mencurigakan yang dapat menyebabkan perubahan elektromekanikal setelah transportasi, setelah terjadinya gangguan hubung singkat, dan setelah kejadian luar biasa (gempa bumi, badai atau tornado, dan banjir).

2.5 Flowchart Penelitian



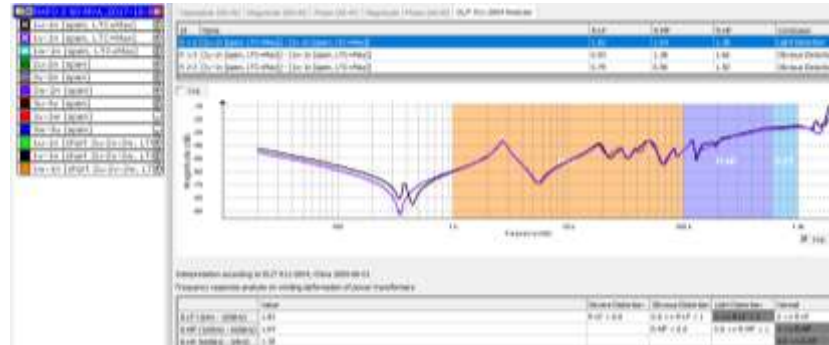
Gambar 5. *Flowchart Penelitian*

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisa respon frekuensi merupakan analisa karakteristik sistem dengan melihat respon keadaan *realtime* suatu sistem terhadap masukan sinusoidal dengan menggunakan *software* FRAX vs 2.5. *Software* FRAX vs 2.5 yang telah dihubungkan langsung dengan FRAX 101 akan menampilkan respon frekuensi dalam bentuk kurva hubungan antara frekuensi (Hz) dan *magnitude* (dB) dengan nilai rentang frekuensi yang telah ditentukan. Setiap nilai rentang frekuensi memiliki perubahan karakteristik kerusakan yang berbeda-beda diantaranya : nilai rentang frekuensi rendah (1 kHz sampai 100 kHz) mendeteksi gangguan pada inti transformator dengan menunjukkan terjadinya *deformasi* (perubahan bentuk) atau kerusakan pada inti besi transformator dan hubung singkat pada belitan. Nilai rentang frekuensi menengah (100 kHz sampai 600 kHz) mendeteksi gangguan pada keseluruhan komponen dengan menunjukkan terjadinya pergeseran keseluruhan belitan dan kerusakan pada struktur *clamping* atau penjepit. Sedangkan nilai rentang frekuensi tinggi (600 kHz sampai 1 MHz) mendeteksi gangguan pada belitan dengan menunjukkan terjadinya pergerakan antar belitan, pergeseran *lead* (ujung) belitan, dan pengubah tap.

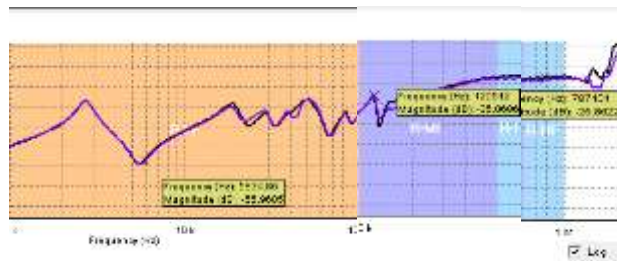
3.1 Interpretasi Pengujian SFRA Pada Sisi Primer HV (*High Voltage*) – Sisi Sekunder LV (*Low Voltage*) Terhubung Terbuka (*Open*)

Setelah diperoleh data kondisi trafo II 150/20 kV 60 MVA GI Pedan ketika pertama kali trafo datang di GI, kemudian dilakukan pengujian SFRA kembali menggunakan *software* FRAX vs 2.5 guna mengetahui pergeseran kondisi trafo saat transportasi pengiriman, gangguan hubung singkat, gempa bumi dan banjir. Pengujian SFRA ini menunjukkan hasil awal dalam bentuk kurva hubungan antara frekuensi (Hz) dan *magnitude* (dB).



Gambar 6. Kurva Sisi Primer HV (*High Voltage*) Phasa u terhadap Phasa v (*Open*)

Pengujian SFRA disisi HV (*High Voltage*) dilakukan dengan penghubungan kabel 1u-1n, 1v-1n, 1w-1n [*open*, LTC = Max]. Setelah itu *software* FRAX vs 2.5 menampilkan hasil berbanding antar phasa 1u-1n, 1u-1v, dan 1v-1w dapat dilihat pada kurva R-LF, R-MF, dan R-HF berdasarkan standart DL/ DL/T 911-2004 yang mengindikasikan masing-masing gangguan pada transformator.

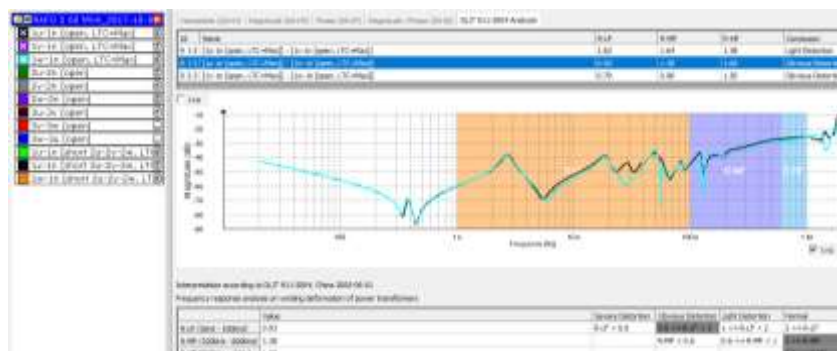


(a)

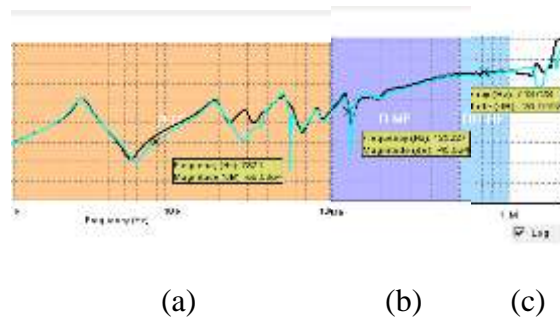
(b)

(c)

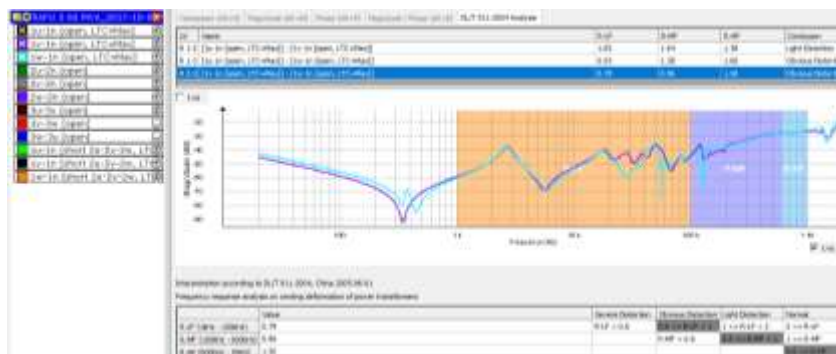
Gambar 7. Kurva (a) Rentang Frekuensi R-LF, (b) Rentang Frekuensi R-MF, (c) Rentang Frekuensi R-HF (*open*) yang Saling Berhimpit antar Phasa u-Phasa v.



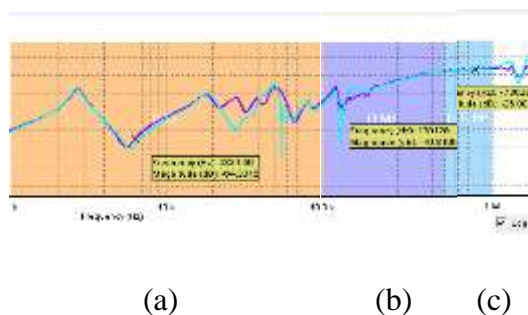
Gambar 8. Kurva Sisi Primer HV (*High Voltage*) Phasa u terhadap Phasa w (*Open*)



Gambar 9. Kurva (a) Rentang Frekuensi R-LF, (b) Rentang Frekuensi R-MF, (c) Rentang Frekuensi R-HF (*open*) Tidak Berhimpit antar Phasa u - Phasa w.



Gambar 10. Kurva Sisi Primer HV (*High Voltage*) Phasa v terhadap Phasa w (*Open*)



Gambar 11. Kurva (a) Rentang Frekuensi R-LF, (b) Rentang Frekuensi R-MF, (c) Rentang Frekuensi R-HF (*open*) Tidak Berhimpit antar Phasa v - Phasa w.

3.2 Hasil Interpretasi dan Analisa

Hasil interpretasi pengujian SFRA sisi primer HV (*High Voltage*) – sekunder LV (*Low Voltage*) terhubung terbuka (*Open*) berdasarkan standart DL/T 911-2004 menunjukkan masing-masing nilai rentang frekuensi dengan mengindikasikan kondisi transformator pada tiap gangguan. Hasil pengujian didapatkan kondisi trafo pada nilai rentang frekuensi rendah (R-LF) terhadap phasa w mengindikasikan adanya gangguan sedang (*obvious deformation*) yang terletak pada inti besi trafo.

Sedangkan pada nilai rentang frekuensi menengah (R-MF) dan rentang frekuensi tinggi (R-HF) terhadap fasa u mengindikasikan tidak adanya gangguan (*normal*) pada trafo.

Tabel 2. Hasil Interpretasi dan Analisa Sisi Primer HV (*High Voltage*)-Sekunder LV (*Low Voltage*)
Open, fasa u-fasa v

Nilai Frekuensi	Deformasi Berat	Deformasi Sedang	Deformasi Ringan	Belitan Normal
R-LF = 1.82	$R-LF < 0.6$	$0.6 \leq R-LF < 1$	$1 \leq R-LF < 2$	$2 \leq R-LF$
R-MF = 1.64		$R-MF < 0.6$	$0.6 \leq R-MF < 1$	$1 \leq R-MF$
R-HF = 1.38				$0.6 \leq R-HF$

Tabel 3. Hasil Interpretasi dan Analisa Sisi Primer HV (*High Voltage*)-Sekunder LV (*Low Voltage*)
Open, fasa u-fasa w

Nilai Frekuensi	Deformasi Berat	Deformasi Sedang	Deformasi Ringan	Belitan Normal
R-LF = 0.93	$R-LF < 0.6$	$0.6 \leq R-LF < 1$	$1 \leq R-LF < 2$	$2 \leq R-LF$
R-MF = 1.38		$R-MF < 0.6$	$0.6 \leq R-MF < 1$	$1 \leq R-MF$
R-HF = 1.66				$0.6 \leq R-HF$

Tabel 4. Hasil Interpretasi dan Analisa Sisi Primer HV (*High Voltage*)-Sekunder LV (*Low Voltage*)
Open, fasa v-fasa w

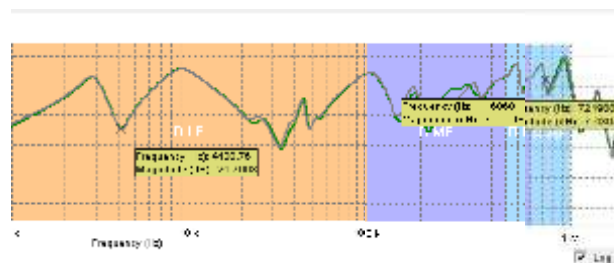
Nilai Frekuensi	Deformasi Berat	Deformasi Sedang	Deformasi Ringan	Belitan Normal
R-LF = 0.78	$R-LF < 0.6$	$0.6 \leq R-LF < 1$	$1 \leq R-LF < 2$	$2 \leq R-LF$
R-MF = 0.96		$R-MF < 0.6$	$0.6 \leq R-MF < 1$	$1 \leq R-MF$
R-HF = 1.38				$0.6 \leq R-HF$

3.3 Interpretasi Pengujian SFRA Pada Sisi Sekunder LV (*Low Voltage*) – Sisi Primer HV (*High Voltage*) Terhubung Terbuka (*Open*)

Interpretasi pengujian SFRA pada sisi sekunder LV (*Low Voltage*) (*Open*) fasa u-fasa v, fasa u-fasa w, fasa v-fasa w dengan penghubungan kabel LV (2u-2n, 2v-2n, 2w-2n) yang dihubung terbuka dapat dilihat pada kurva R-LF, R-MF, dan R-HF berdasarkan standart DL/T 911-2004 menunjukkan masing-masing nilai rentang frekuensi dengan mengindikasikan kondisi transformator pada tiap gangguan.



Gambar 12. Kurva Sisi Sekunder LV (*Low Voltage*) Fasa u terhadap Fasa v (*Open*)

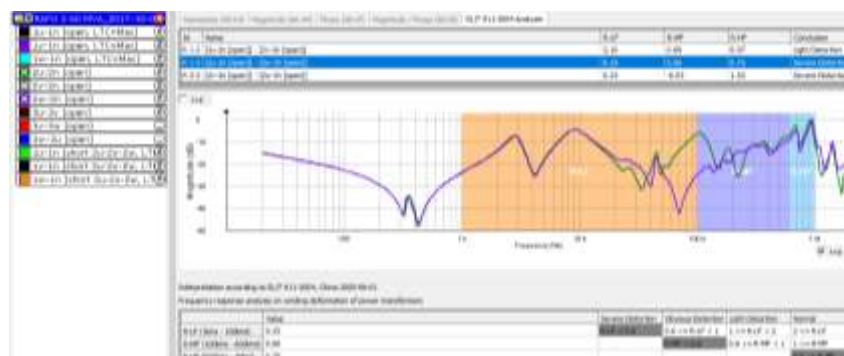


(a)

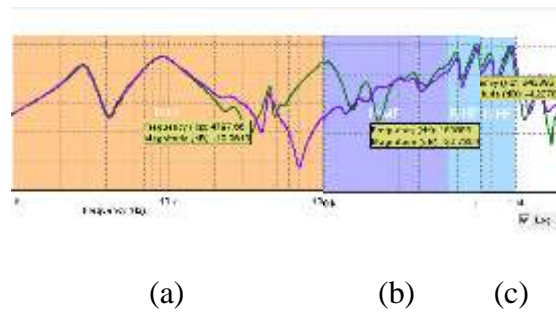
(b)

(c)

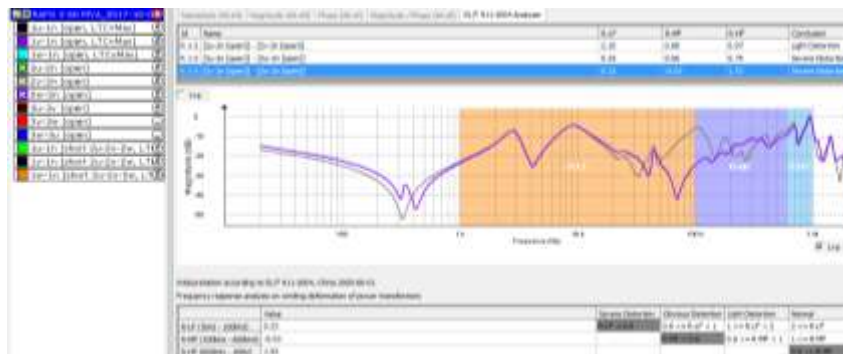
Gambar 13. Kurva (a) Rentang Frekuensi R-LF, (b) Rentang Frekuensi R-MF, (c) Rentang Frekuensi R-HF (*open*) yang Saling Berhimpit antar Fasa u - Fasa v.



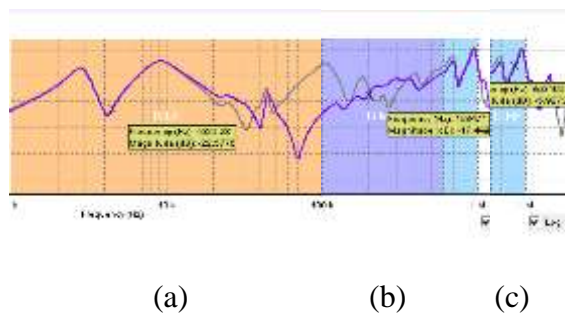
Gambar 14. Kurva Sisi Sekunder LV (*Low Voltage*) Fasa u terhadap Fasa w (*Open*)



Gambar 15. Kurva (a) Rentang Frekuensi R-LF, (b) Rentang Frekuensi R-MF, (c) Rentang Frekuensi R-HF (*open*) Tidak Berhimpit antar Phasa u – Phasa w



Gambar 16. Kurva Sisi Sekunder LV (*Low Voltage*) Phasa v terhadap Phasa w (*Open*)



Gambar 17. Kurva (a) Rentang Frekuensi R-LF, (b) Rentang Frekuensi R-MF, (c) Rentang Frekuensi R-HF (*open*) Tidak Berhimpit antar Phasa u - Phasa w

3.4 Hasil Interpretasi dan Analisa

Hasil interpretasi pengujian SFRA sisi sekunder LV (*Low Voltage*)-primer HV (*High Voltage*) terhubung terbuka (*Open*) berdasarkan standart DL/T 911-2004 menunjukkan masing-masing nilai rentang frekuensi dengan mengindikasikan kondisi transformator pada tiap gangguan. Hasil pengujian pada nilai rentang frekuensi menengah (R-MF) terhadap phasa v mengindikasikan adanya gangguan ringan (*light deformation*) yang terletak pada struktur *clamping* bushing trafo. Sedangkan pada nilai rentang frekuensi rendah (R-LF) dan rentang frekuensi tinggi (R-HF) terhadap phasa v mengindikasikan tidak adanya gangguan (*normal*) pada trafo.

Tabel 5. Hasil Interpretasi dan Analisa Sisi Sekunder LV (*Low Voltage*)-Primer HV (*High Voltage*)
Open, phasa u dan v

Nilai Frekuensi	Deformasi Berat	Deformasi Sedang	Deformasi Ringan	Belitan Normal
R-LF = 2.10	R-LF < 0.6	0.6 <= R-LF < 1	1 <= R-LF < 2	2 <= R-LF
R-MF = 0.68		R-MF < 0.6	0.6 <= R-MF < 1	1 <= R-MF
R-HF = 0.97				0.6 <= R-HF

Tabel 6. Hasil Interpretasi dan Analisa Sisi Sekunder LV (*Low Voltage*)-Primer HV (*High Voltage*)
Open, phasa u dan w

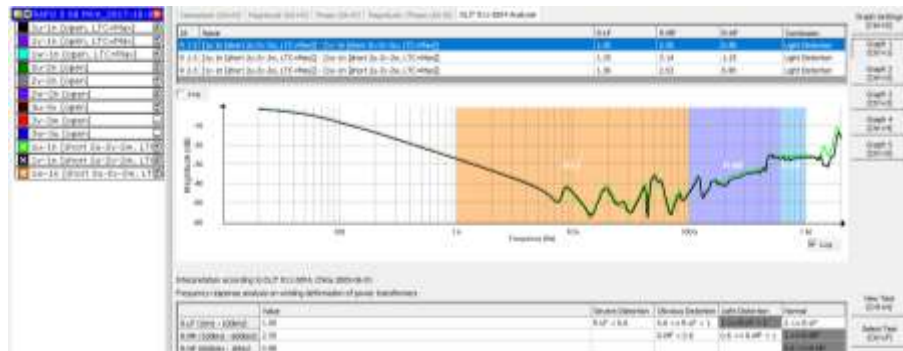
Nilai Frekuensi	Deformasi Berat	Deformasi Sedang	Deformasi Ringan	Belitan Normal
R-LF = 0.25	R-LF < 0.6	0.6 <= R-LF < 1	1 <= R-LF < 2	2 <= R-LF
R-MF = 0.06		R-MF < 0.6	0.6 <= R-MF < 1	1 <= R-MF
R-HF = 0.75				0.6 <= R-HF

Tabel 7. Hasil Interpretasi dan Analisa Sisi Sekunder LV (*Low Voltage*)-Primer HV (*High Voltage*)
Open, phasa v dan w

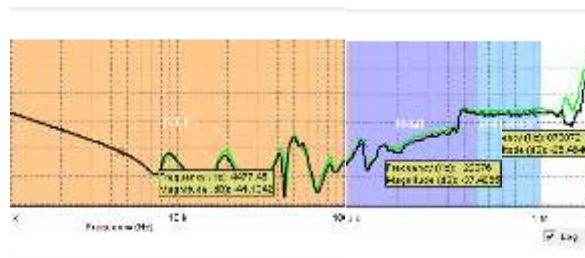
Nilai Frekuensi	Deformasi Berat	Deformasi Sedang	Deformasi Ringan	Belitan Normal
R-LF = 0.23	R-LF < 0.6	0.6 <= R-LF < 1	1 <= R-LF < 2	2 <= R-LF
R-MF= -0.03		R-MF < 0.6	0.6 <= R-MF < 1	1 <= R-MF
R-HF = 1.53				0.6 <= R-HF

3.5 Interpretasi Pengujian SFRA Pada Sisi Primer HV (*High Voltage*) – Sisi Sekunder LV (*Low Voltage*) Dihubung singkat (*Short*)

Interpretasi pengujian SFRA pada sisi primer HV (*High Voltage*) dengan penghubungan kabel [1u-1n, 1v-1n, 1w-1n] pada sisi sekunder LV (*Low Voltage*) [2u-2n, 2v-2n, 2w-2n] dihubung singkat dengan berbanding antar fasa 1u-1v, 1u-1w, 1v-1w [short 2u-2n, 2v-2n, 2w-2n, LTC = Max] dapat dilihat pada kurva R-LF, R-MF, dan R-HF berdasarkan standart DL/ DL/T 911-2004.

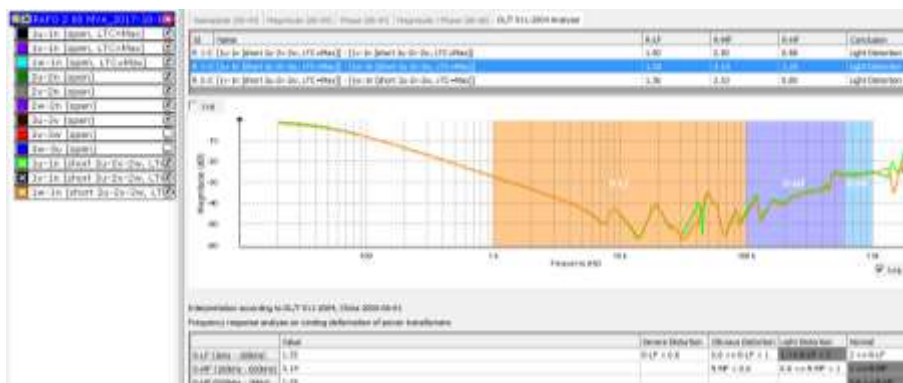


Gambar 18. Kurva Sisi Primer HV (*High Voltage*) Short Sisi Sekunder LV (*Low Voltage*) Terhadap Fasa u – Fasa v

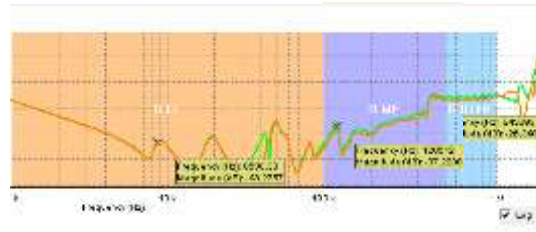


(a) (b) (c)

Gambar 19. Kurva (a) Rentang Frekuensi R-LF, (b) Rentang Frekuensi R-MF, (c) Rentang Frekuensi R-HF (*short*) yang Saling Berhimpit antar Fasa u - Fasa v

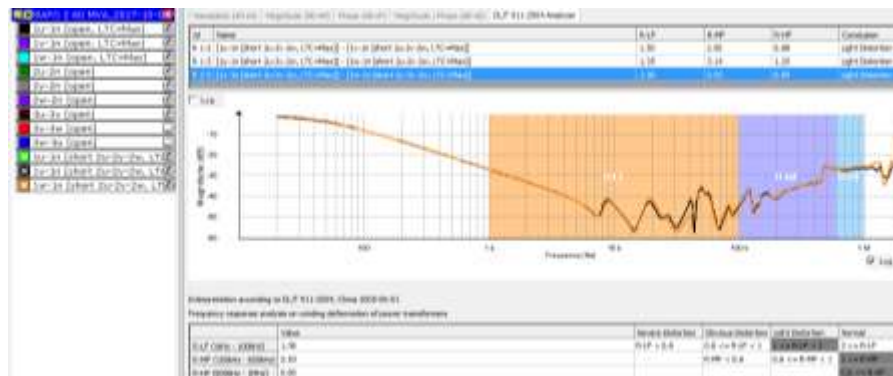


Gambar 20. Kurva Sisi Primer HV (*High Voltage*) Short Sisi Sekunder LV (*Low Voltage*) Terhadap Fasa u - Fasa w

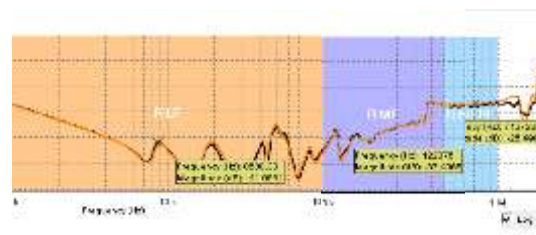


(a) (b) (c)

Gambar 21. Kurva (a) Rentang Frekuensi R-LF, (b) Rentang Frekuensi R-MF, (c) Rentang Frekuensi R-HF (*short*) yang Saling Berhimpit antar Phasa u - Phasa w



Gambar 22. Kurva Sisi Primer HV (*High Voltage*) *Short* Sisi Sekunder LV (*Low Voltage*) Terhadap Phasa v - Phasa w



(a) (b) (c)

Gambar 21. Kurva (a) Rentang Frekuensi R-LF, (b) Rentang Frekuensi R-MF, (c) Rentang Frekuensi R-HF (*short*) yang Saling Berhimpit antar Phasa v - Phasa w

3.6 Hasil Interpretasi dan Analisa

Hasil interpretasi pengujian SFRA sisi primer HV (*High Voltage*) - sisi sekunder LV (*Low Voltage*) yang dihubung singkat (*short*) berdasarkan standart DL/T 911-2004 menunjukkan masing-masing nilai rentang frekuensi dengan mengindikasikan kondisi transformator pada tiap gangguan. Hasil pengujian pada nilai rentang frekuensi rendah (R-LF) terhadap phasa u, v, dan w mengindikasikan adanya gangguan ringan (*light deformation*) yang terletak pada struktur *clamping* bushing trafo.

Sedangkan pada nilai rentang frekuensi menengah (R-MF) dan rentang frekuensi tinggi (R-HF) terhadap fasa u, v, dan w mengindikasikan tidak adanya gangguan (*normal*) pada trafo.

Tabel 8. Hasil Interpretasi dan Analisa Sisi Primer HV (*High Voltage*) - Sisi Sekunder LV (*Low Voltage*) Dihubung Singkat (*Short*), fasa u - fasa v

Nilai Frekuensi	Deformasi Berat	Deformasi Sedang	Deformasi Ringan	Belitan Normal
R-LF = 1.50	R-LF < 0.6	0.6 ≤ R-LF < 1	1 ≤ R-LF < 2	2 ≤ R-LF
R-MF = 2.50		R-MF < 0.6	0.6 ≤ R-MF < 1	1 ≤ R-MF
R-HF = 0.88				0.6 ≤ R-HF

Tabel 9. Hasil Interpretasi dan Analisa Sisi Primer HV (*High Voltage*) - Sisi Sekunder LV (*Low Voltage*) Dihubung Singkat (*Short*), fasa u - fasa w

Nilai Frekuensi	Deformasi Berat	Deformasi Sedang	Deformasi Ringan	Belitan Normal
R-LF = 1.35	R-LF < 0.6	0.6 ≤ R-LF < 1	1 ≤ R-LF < 2	2 ≤ R-LF
R-MF = 3.14		R-MF < 0.6	0.6 ≤ R-MF < 1	1 ≤ R-MF
R-HF = 1.25				0.6 ≤ R-HF

Tabel 10. Hasil Interpretasi dan Analisa Sisi Primer HV (*High Voltage*) - Sisi Sekunder LV (*Low Voltage*) Dihubung Singkat (*Short*), fasa v - fasa w

Nilai Frekuensi	Deformasi Berat	Deformasi Sedang	Deformasi Ringan	Belitan Normal
R-LF = 1.36	R-LF < 0.6	0.6 ≤ R-LF < 1	1 ≤ R-LF < 2	2 ≤ R-LF
R-MF = 2.53		R-MF < 0.6	0.6 ≤ R-MF < 1	1 ≤ R-MF

4. PENUTUP

Berdasarkan hasil interpretasi dan analisa pengujian SFRA dengan menggunakan *software* FRAX vs 2.5, maka dapat disimpulkan :

1. Interpretasi pengujian SFRA pada sisi primer HV (*High Voltage*) - sisi sekunder LV (*Low Voltage*) terhubung terbuka (*open*) berdasarkan standart DL/T 911-2004 menunjukkan pada nilai rentang frekuensi rendah (R-LF) terhadap fasa w mengindikasikan adanya gangguan sedang (*obvious deformation*) yang terletak pada inti besi trafo. Sedangkan pada nilai rentang frekuensi menengah (R-MF) dan rentang frekuensi tinggi (R-HF) terhadap fasa u mengindikasikan tidak adanya gangguan (*normal*) pada trafo.
2. Pengujian pada sisi sekunder LV (*Low Voltage*) – sisi primer HV (*High Voltage*) terhubung terbuka (*open*) berdasarkan standart DL/T 911-2004 menunjukkan pada nilai rentang frekuensi menengah (R-MF) terhadap fasa v mengindikasikan adanya gangguan ringan (*light deformation*) yang terletak pada struktur *clamping* bushing trafo. Sedangkan pada nilai rentang frekuensi rendah (R-LF) dan rentang frekuensi tinggi (R-HF) terhadap fasa v mengindikasikan tidak adanya gangguan (*normal*) pada trafo.
3. Hasil interpretasi pengujian pada sisi primer HV (*High Voltage*) – sisi sekunder LV (*Low Voltage*) dihubung singkat (*short*) menurut standart DL/T 911-2004 menunjukkan pada nilai rentang frekuensi rendah (R-LF) terhadap fasa u, v, dan w mengindikasikan adanya gangguan ringan (*light deformation*) yang terletak pada struktur *clamping* bushing trafo. Sedangkan pada nilai rentang frekuensi menengah (R-MF) dan rentang frekuensi tinggi (R-HF) terhadap fasa u, v, dan w mengindikasikan tidak adanya gangguan (*normal*) pada trafo.
4. Berdasarkan interpretasi dan analisa pengujian, maka diperoleh hasil semua pengujian menurut standart DL/T 911-2004 yang menunjukkan masing-masing nilai rentang frekuensi dengan mengindikasikan kondisi transformator pada tiap gangguan. Hasil pengujian pada nilai rentang frekuensi rendah (R-LF) mengindikasikan adanya gangguan sedang (*obvious deformation*) terhadap fasa w yang terletak pada inti besi trafo dan nilai rentang frekuensi menengah (R-MF) mengindikasikan adanya gangguan ringan (*light deformation*) terhadap fasa v yang terletak pada struktur *clamping* bushing trafo.

PERSANTUNAN

Puji syukur ke hadirat Allah SWT, yang senantiasa melimpahkan segala nikmat kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan baik. Penelitian ini berisi analisa kondisi trafo II 150/20 kV 60 MVA GI Pedan yang telah diselesaikan sesuai target dan berkat karunia-Nya penulis diberikan kemudahan dalam menyelesaikan tugas akhir ini, maka dari itu penulis mengucapkan terima kasih kepada bapak Umar, S.T, M. T yang telah memberi saran dan bimbingan hingga tugas akhir ini dapat terselesaikan dan keluarga yang selalu memberikan motivasi dan masukkan yang berarti bagi terselesainya tugas akhir ini. Penulis juga mengucapkan kepada bapak Heru Wibowo, mas Ari, dan mas Eki yang telah banyak membantu selama penelitian serta teman-teman Teknik Elektro UMS angkatan 2014 yaitu Faisal, Miranti, Ardan, Mas Galih, Amoreza, dan teman-teman yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu yang telah banyak membantu hingga tugas akhir ini dapat terselesaikan.

DAFTAR PUSTAKA

- Bohari, Z. H., Ghani, S. Ab., Baharom, M. F., Nasir, M. N. M., Jali, M. H., & Thayoob, Y. H. Md. (2014). *Feature Analysis of Numerical Calculated Data from Sweep Frequency Analysis (SFRA) Traces Using Self Organizing Maps*. Jurnal Teknologi (Sciences & Engineering), 67:3 (2014), 37-42. Malaysia : Universiti Teknikal Malaysia.
- Fathoni, Dimas., & Irianto, Chairul Gagarin. (2017). *Sweep Frequency Response Analysis Untuk Analisis Awal Gangguan Mekanis Pada Transformator Distribusi*. Tugas Akhir Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri , Universitas Trisakti Jakarta Barat. ISSN.Vol 14. No 2. Hal 41-56.
- Interpretation According to DL/T 911-2004. (2005). *Frequency Response Analysis on Winding Deformation of Power Transformers*. China : 2005.
- Karady, George. G., & Holbert, Keith. E. (2005). *Electrical Energy Conversion And Transport, Electric Power System* (p. 1). Hoboken, New Jersey : Publised by John Wiley & Sons, Inc.
- Kraetge, A., Krüger, M., Velásquez, J. L., Viljoen, H., & Dierks, A. (2009). *Aspects Of The Practical Application Of Sweep Frequency Response Analysis (SFRA) On Power Transformers*. 6'th Southern Africa Regional Conference : Cigré. <http://www.cigre.org>
- Kurnaen, Jemjem., Sugiartho., Tamsir, Yulian., & Pramono, Eko Yudo. (2014). *Buku Pedoman Pemeliharaan Transformator Tenaga* (Nomor : PDM/PGI/01:2014). Jakarta : PT PLN (Persero). IEC 60076-1, 2011.

- Marsudi, Djiteng. (2015). *Operasi Sistem Tenaga Listrik*. Yogyakarta : Graha Ilmu.
- Megger. (2013). *Sweep Frequency Response Analysis FRAX Demo Guide*. <http://www.megger.com>
- Purnomo, Dwi Joko. (2017). *Pengujian SFRA*. Surakarta : PLN (Persero). <http://www.pln.co.id>
- Sweetser, Charles,. & McGrail, Tony. (2003). *Sweep Frequency Response Nalysis Transformer Applications* (p. 4 of 47). USA : Doble Engineering Company.
- William D. Stevenson. Jr., Kamal Idris (1994). *Analisis Sistem Tenaga Listrik*, Edisi Keempat. Jakarta : Erlangga.